

Dispersionskompensationsfaser

Publication number: DE19641577 (A1)

Publication date: 1998-04-02

Inventor(s): VOBIAN JOACHIM DR [DE]

Applicant(s): DEUTSCHE TELEKOM AG [DE]

Classification:

- international: G02B6/024; H01S3/067; H04B10/02; H04B10/18;
G02B6/02; H01S3/06; H04B10/02; H04B10/18; (IPC1-
7): G02B6/17; C03B37/012; H01S3/131; H01S3/17

- European: G02B6/02M; H01S3/067C

Application number: DE19961041577 19960930

Priority number(s): DE19961041577 19960930

Also published as:

EP0958516 (A1)
WO9814806 (A1)
CA2267442 (A1)
JP2001503871 (T)
US2002015569 (A1)

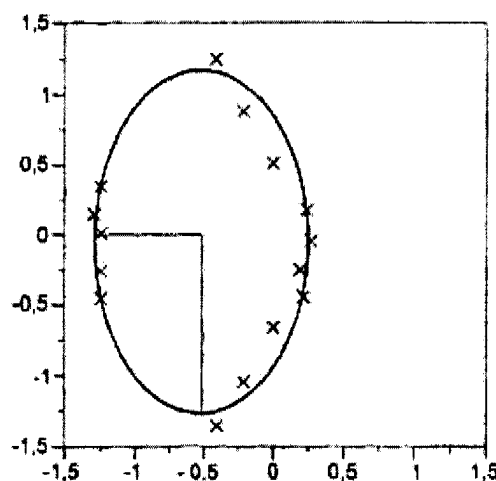
Cited documents:

DE2909390 (C2)
DE3728680 (A1)
DE3229432 (A1)
EP0734105 (A2)
EP0674193 (A2)

more >>

Abstract of DE 19641577 (A1)

The phase modulator in the laser resonator requires both at the input and at the output defined linearly polarized light which has to be generated. Hitherto, this was brought about in a complex and expensive manner using polarization actuators. The invention provides a combination of dispersion compensation and definition of the linear polarization state in a dispersion compensation fibre (PM-DC fibre) which is birefringent at such a high level that only the two orthogonal linear polarization states can be diffused therein. The invention can be used for mode-locked fibre lasers in which the time pulse width has to be as small as possible.



Kerngeometrie der W-Profil-Faser (elliptischer Fit)

große Achse: 2,48µm

kleine Achse: 1,54µm

CORE GEOMETRY OF THE W-PROFILE FIBRE (ELLIPTICAL FIT)

LARGE AXIS: 2.48 µm

SMALL AXIS: 1.54 µm

Data supplied from the esp@cenet database — Worldwide

19 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

12 **Offenlegungsschrift**
10 **DE 196 41 577 A 1**

51 Int. Cl.⁸:
G 02 B 6/17
C 03 B 37/012
H 01 S 3/17
H 01 S 3/131

21 Aktenzeichen: 196 41 577.2
22 Anmeldetag: 30. 9. 96
43 Offenlegungstag: 2. 4. 98

DE 196 41 577 A 1

71 Anmelder:
Deutsche Telekom AG, 53113 Bonn, DE

72 Erfinder:
Vobian, Joachim, Dr., 64367 Mühlital, DE

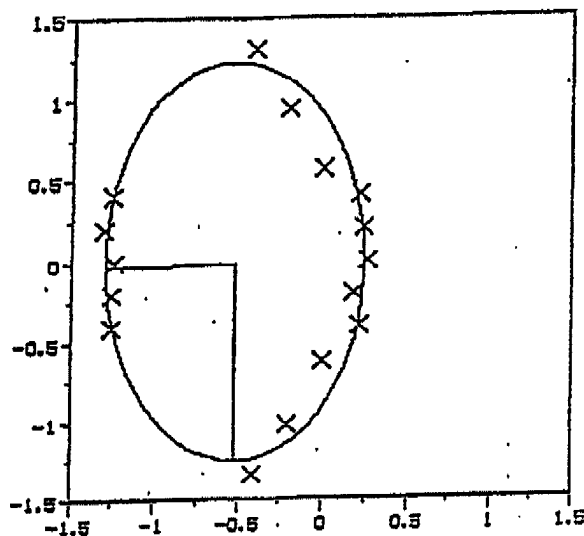
56 Für die Beurteilung der Patentfähigkeit
in Betracht zu ziehende Druckschriften:

DE 29 09 390 C2
DE 37 28 880 A1
DE 32 29 432 A1
EP 07 34 105 A2
EP 08 74 193 A2
EP 08 37 782 A1

POOLE, C.D., et.al.: Elliptical-Core Dual-Mode Fiber
Dispersion Compensator. In: IEEE Photonics
Technology Letters, Vol.5, No.2, Feb. 1993,
S.194-197;

54 Dispersionskompensationsfaser

57 Der Phasenmodulator im Laserresonator verlangt sowohl am Eingang als auch am Ausgang definiertes, linear polarisiertes Licht, das erzeugt werden muß. Das geschieht bisher aufwendig und umständlich durch Polarisationssteller. Mit der Erfindung wird eine Kombination von Dispersionskompensation und Definierung des linearen Polarisationszustandes in einer Dispersionskompensationsfaser (PM-DC-Faser), die so hoch doppelbrechend ist, daß sich nur die beiden orthogonalen, linearen Polarisationszustände in ihr ausbreiten können, erzielt. Die Anwendung ist für modageblockte Fasern vorgesehen, bei denen die zeitliche Pulsbreite möglichst klein sein muß.



DE 196 41 577 A 1

Beschreibung

Die Erfindung bezieht sich auf Dispersionskompensationsfasern der im Oberbegriff des Patentanspruch 1 näher bezeichneten Art. Sie wurden z. B. von Pataca, D.M., Rocha, M.L., Smith, K., Whitley, T.J., Wyatt, R. in: "Actively modelocked Pr³⁺-doped fluoride fibre laser", Electr. Lett., 30, (1994) 2, p.964p. beschrieben.

Die Verwendung und der Aufbau von derartigen Dispersionskompensationsfasern (DC-Fasern) zur Kompensation der Dispersion der aktiven Faser des Faserlasers ist mit einem Faserlaseraufbau wie er beispielsweise in Fig. 1 vorgestellt wird, bekannt. Der Phasenmodulator im Laserresonator verlangt sowohl am Eingang als auch am Ausgang definiertes, linear polarisiertes Licht, das erzeugt werden muß. Das geschieht bisher allgemein aufwendig und umständlich durch Polarisationssteller.

Als Strahlungsquelle ultrahochbitratiger Übertragungssysteme und als Solitonenquelle werden vorteilhaft modegelockte Faserlaser benutzt. Wichtigste Voraussetzung ist, daß die zeitliche Pulsbreite möglichst klein ist, d. h. einige ps nicht übersteigt. Verschiedene Autoren, z. B. Pataca, D. M., Rocha, M. L., Smith, K., Whitley, T. J., Wyatt, R.: Actively modelocked Pr³⁺-doped fluoride fibre laser. Electr. Lett., 30, (1994), 2, p.964p. demonstrierten, daß die chromatische Dispersion der aktiven Faser der Faserlaser sich pulsverbreitend auswirkt. Die Formel von Kuizenga, D. J., Siegman, A. E.: FM and AM Mode-Locking of the Homogeneous Laser — Part I: Theory. IEEE J. Quant. Electr. 6 (1970), p.694 mit der Erweiterung von Geister, G.: Integrierte optische Modulation von Nd-Faserlasern.

Fortschrittsberichte VDI Reihe 10 (1990) 140, 1, 102 stellen die Abhängigkeit der zeitlichen Pulshalbwertsbreite τ_p von der Modulationsfrequenz f_m , dem Modulationsindex δ_a , der Laserwellenlänge λ , der Länge der aktiven Faser L_a , dem Gewinnkoeffizienten g und der spektralen Halbwertsbreite $\Delta\lambda$ des Fluoreszenzspektrums dar:

$$\tau_p = \frac{\sqrt{2\sqrt{2}\ln 2}}{\pi} \left[\frac{1}{f_m^2 \delta_a} \right]^{1/4} \left[\left(\frac{\lambda^2 L_a}{2\pi c} D \right)^2 + \left(\frac{g}{\pi^2 \Delta f^2} \right)^2 \right]^{1/8}$$

Die Erweiterung durch Geister drückt sich durch den Zusatzterm mit D aus, der die chromatische Dispersion berücksichtigt.

Fig. 2 zeigt den negativen Einfluß der Dispersion D auf die Pulshalbwertsbreite für den Fall eines Pr³⁺-ZBLAN-Glas-Faserlasers. Das bedeutet, um τ_p minimal zu machen, muß D verschwinden, d. h. die Dispersion muß kompensiert werden. Das kann erreicht werden durch den Einsatz gechirpter Bragg-Fasergitter als Laserspiegel, z. B. als Auskoppelspiegel. Allerdings ist diese Methode sehr problematisch. Das Reflexionsvermögen des gechirpten Gitters ist durch die Optimierung des Faserlasers genau festgelegt und muß also verifiziert werden, da sich sonst die Laserschwelle erhöht und die Ausgangsleistung sich reduziert. Um die Dispersion der aktiven Faser zu kompensieren, muß die spektrale Halbwertsbreite nach Schätzungen $> 10\text{nm}$ sein, andernfalls erhöht sich τ_p . Diese technologischen Anforderungen sind zur Zeit nicht zu bewältigen.

Aufgabe der Erfindung ist es deshalb, eine Verbindung der Effekte von Dispersionskompensation und Definierung des linearen Polarisationszustandes in einer mit der aktiven Faser verknüpften Glasfaser mit hoher Doppelbrechung der DC-Fasern zu ermöglichen.

Die Lösung dieser Aufgabe erfolgt mit den im Kennzeichen des Patentanspruch 1 aufgeführten Mitteln.

Vorteilhafte Weiterbildungsmöglichkeiten der Erfindung sind in den Kennzeichen der Unteransprüche 2 und 3 erwähnt.

Die Erfindung mit ihren Wirkungen und Vorteilen wird nachstehend anhand von Ausführungsbeispielen näher erklärt. In den zugehörigen Zeichnungen und Tabellen zeigen die:

Fig. 1 den Aufbau eines Pr³⁺-dotierten Fluoridglas-Faserlasers mit 2 PM-DC-Fasern,

Fig. 2 die gemessene und berechnete Pulshalbwertsbreite mit und ohne Berücksichtigung der Dispersion in Abhängigkeit von der Modulationsfrequenz,

Fig. 3 ein $n(r)$ -Profil der Stufenindexfaser 79M,

Fig. 4 ein $n(r)$ -Profil der W-Profil-Faser 82M,

Fig. 5 ein Brechzahl-Profil der beiden TC-Profil-Fasern mit rechteckigem Kern (oben) und parabolischem Kern (unten), Vorformmessung,

Fig. 6 eine Kerngeometrie der W-Profil-Faser (elliptischer Fit), große Achse: $248\text{ }\mu\text{m}$, kleine Achse: $154\text{ }\mu\text{m}$,

Fig. 7 eine Gruppenlaufzeit- und Dispersionskurve der Stufenindex-Faser 79M,

Fig. 8 die Chromatische Dispersion der W-Profilfaser 82M bei Ramanfaserlasermessung,

Fig. 9 die Dispersionskurven der beiden TC-Profil-Fasern 94M und 96M mit rechteckigem Kern (oben) und parabolischem Kern (unten),

Fig. 10 eine Doppelimpulsdarstellung auf dem Oszillographen-Bildschirm; Impulse einer Stufenindexfaser, Faserlänge 615m , $2 = 1550\text{nm}$, Pulsabstand $1679 \Rightarrow \text{PMD} = 2,63\text{ps/m}$,

Tab. 1: Meßergebnisse der chromatischen Dispersion der 2PM-DC-Fasern 79M und 82M, Messungen mit dem Ramanfaserlaser und dem Mach-Zehnder-Interferometer,

Tab. 2: PMD, Gruppendifferenz und Gruppenbeatlänge von zwei PM-DC-Fasern und von drei kommerziellen PM-Fasern zum Vergleich und

Tab. 3: Geometrische Daten, Dämpfung, Dispersionsmeßergebnisse und PMD-Werte der zwei TC-Profil-Fasern mit rechteckigem und parabolischem Kernprofil.

Gegenstand der vorliegenden Erfindung sind DC-Fasern mit hoher Doppelbrechung, die sowohl die Dispersion der aktiven Faser kompensieren als auch den Polarisationszustand der Strahlung definieren, fixieren und

kontrollieren. Diese Fasern werden im folgenden PM-DC-Fasern genannt.

Man erhält eine Allfaserlösung des Problems mit kleinen Resonatorverlusten, da die Dämpfung dieser PM-DC-Fasern klein ist. Es ist also eine niedrige Laserschwelle und hohe Ausgangsleistung zu erwarten. Außerdem ist ein sehr kompakter Aufbau gewährleistet.

Dispersionskompensationsfasern mit hoher Doppelbrechung (PM-DC-Faser) können ein sehr nützliches Werkzeug in der optischen Meß- und Sensortechnik sein, wenn es darauf ankommt, die chromatische Dispersion von (aktiven) Glasfasern zu kompensieren und gleichzeitig den Polarisationszustand der Strahlung zu definieren, zu fixieren und zu kontrollieren. Das soll anhand eines Beispiels verdeutlicht werden.

Im folgenden werden die Betrachtungen auf das 3. optische Fenster beschränkt (um $\lambda = 1550\text{nm}$). Die hohe Doppelbrechung wird erreicht durch eine ausgeprägte Elliptizität des Faserkerns, man spricht von geometrischer Doppelbrechung. Im folgenden werden 4 Faserprofile vorgestellt, die das Verlangte leisten. Von Boneß, R., Nowak, W., Vobian, J., Unger, S., Kirchhof, J. wurde in: Tailoring of dispersioncompensation fibres with high compensation ratios up to 30. Pure Appl. Opt. 5 (1995), 333 eine iterative, inverse Methode vorgestellt, die es gestattet, für vorgegebene Dispersionswerte und Petermann-II-Feldradialen die relevanten Faserparameter zu bestimmen und das Faserprofil zu optimieren. Es wird dabei Gebrauch gemacht vom Levenberg-Marquardt-Algorithmus auf der Basis der skalaren Helmholtz-Gleichung und der singulären Sturm-Liouville Eigenwertlösung.

Im vorliegenden Falle muß die Dispersion im 3. optischen Fenster hohe negative Werte annehmen.

In den Fig. 3, 4 und 5 werden die Faserprofile einer Stufenindex-, einer W-Profil- und von zwei Triple-Clad-(TC-) Fasern mit rechteckigem und parabolischen Kernprofil vorgestellt. Die Geometrie des Kerns der W-Profilfaser ist in Fig. 6 gezeigt.

Die Messungen der chromatischen Dispersion $D(\lambda)$ können mit dem Ramanfaserlaser RFL, beschrieben in Vobian, J.: Dispersionsmessungen zur Charakterisierung von Quarzglasfasern der optischen Nachrichtentechnik. Mitteilungen aus dem Forschungsinstitut der Deutschen Bundespost, Heft 14 (1992), und dem Mach-Zehnder-Interferometer MZI, beschrieben in Vobian, J.: Chromatic and Polarization Dispersion Measurements of Single-Mode Fibers with a Mach-Zehnder Interferometer between 1200 and 1700nm. J. Opt. Commun. 11 (1990), 1, p. 29, durchgeführt werden.

Die Vorteile dieser Meßtechnik sind der große Meßbereich bis $\lambda \geq 1700\text{nm}$, die große Anzahl der Meßpunkte, die hohe Meßgenauigkeit, die Möglichkeit, das X-Spektrum kontinuierlich, lückenlos durchzufahren und im Falle des MZI die Messungen an kurzen Faserstücken durchzuführen. Die Messung der sehr hohen negativen Dispersionswerte im 3. optischen Fenster ist im Falle des RFL leicht möglich, im Falle des MZI mit Hilfe von Modifikationen des Meßaufbaus auch machbar.

Fig. 7 zeigt die Gruppenlaufzeit- und die Dispersionskurve der Stufenindexfaser 79M, in Fig. 8 ist die Dispersionskurve der W-Faser 82M und Fig. 9 die der beiden TC-Fasern 94M und 96M dargestellt. In Tab. 1 sind die relevanten Daten der beiden Fasern 79M und 82M zusammengestellt. Die Abweichungen zwischen RFL- und MZI-Messungen können durch Faserinhomogenitäten erklärt werden.

In Tab. 2 sind die Geometrie- und Dispersionsdaten der beiden TC-Fasern 94M und 96M zusammengefaßt. Die Doppelbrechungswerte werden später diskutiert.

Die Messungen der Doppelbrechung und Polarisationsmodendispersion (PMD) sind mit einem Michelsoninterferometer, wie von Gisin, N., Von der Weid, J.-P., Pellaux, J.-P. in: Polarization Mode Dispersion of Short and Long Single-Mode Fibers. J. Lightw. Technol. 9, (1991), 7, p.821 und von Vobian, J., Mörl, K., Keilig, W. in: Different aspects of the polarization mode dispersion measuring technique. Proc. EFOC&N 94, Heidelberg 1994, p.174 beschrieben, in der Zeitdomäne durchgeführt worden.

Fig. 10 zeigt, wie durch die hohe Doppelbrechung, die große PMD-Werte verursacht, die Pulse aufgesplittet werden. Der Abstand der beiden Pulse ist ein Maß für die Doppelbrechung der Faser. In Tab. 3 sind die Meßergebnisse der Fasern 79M und 82M zusammengestellt. Ebenfalls sind die entsprechenden Daten von kommerziellen polarisationserhaltenden (HiBi-) Fasern zu Vergleichszwecken angegeben (PANDA-YORK-Bow-Tie- und AT&T-Faser). Man sieht, die Doppelbrechung der beiden Fasern 79M und 82M mit elliptischen Kernen ist beträchtlich größer, die Beatlängen entsprechend kleiner.

Die Beziehungen zwischen der Gruppendifferenz B_G , der Gruppenbeatlänge l_G und der Polarisationsmodendispersion PMD ($\Delta\tau_{GP}$) sind im folgenden angegeben:

$$\Delta\tau_{GP} = \frac{\Delta t_{GP}}{L} = \frac{B_G}{c},$$

$$l_G = \frac{\lambda}{B_G}.$$

In Tab. 2 sind, wie bereits erwähnt, auch die Doppelbrechungs-, bzw. PMD-Meßwerte der beiden TC-Fasern aufgeführt. Sowohl die Dispersions- als auch die Doppelbrechungs- bzw. PMD-Werte sind für die beiden TC-Fasern kleiner als die der Stufenindex- und W-Faser. Das war beabsichtigt, da diese Daten völlig hinreichend sind, zum anderen sind aber die Dämpfungswerte der beiden TC-Fasern deutlich kleiner, was sich, wie erwähnt, positiv auf den Laserbetrieb auswirkt.

Patentansprüche

- 5 1. Dispersionskompensationsfaser für die Kompensation der Dispersion in einer Glasfaser, die verknüpft mit der aktiven Faser im Faserlaserresonator untergebracht ist, dadurch gekennzeichnet, daß sie durch eine ausgewählte Dotierung in der Vorform und durch eine gezielt elliptische Formgebung des Kernes für eine geometrische Doppelbrechung, welche nur die Ausbreitung der beiden orthogonalen, linearen Polarisationszustände zuläßt, sowohl für die Dispersionskompensation als auch für die Definierung des linearen Polarisationszustandes ausgebildet ist.
- 10 2. Dispersionskompensationsfaser nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß sie sowohl für hohe negative Dispersionswerte im 3. optischen Fenster als auch hohe positive Dispersionswerte im 2. optischen Fenster ausgebildet sein kann, um in beiden optischen Fenstern die Dispersion der aktiven Fasern kompensieren und den Polarisationszustand fixieren zu können.
- 15 3. Dispersionskompensationsfaser nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß durch Dimensionierung der minimalen Länge der Dispersionskompensationsfaser, die für beide Effekte, sowohl in erster Linie der Dispersionskompensation als auch in zweiter Linie der Definierung des linearen Polarisationszustandes proportional ist, in der Endkonsequenz die Resonatorverluste bei Faserlasern minimiert sind.

Hierzu 13 Seite(n) Zeichnungen

20

25

30

35

40

45

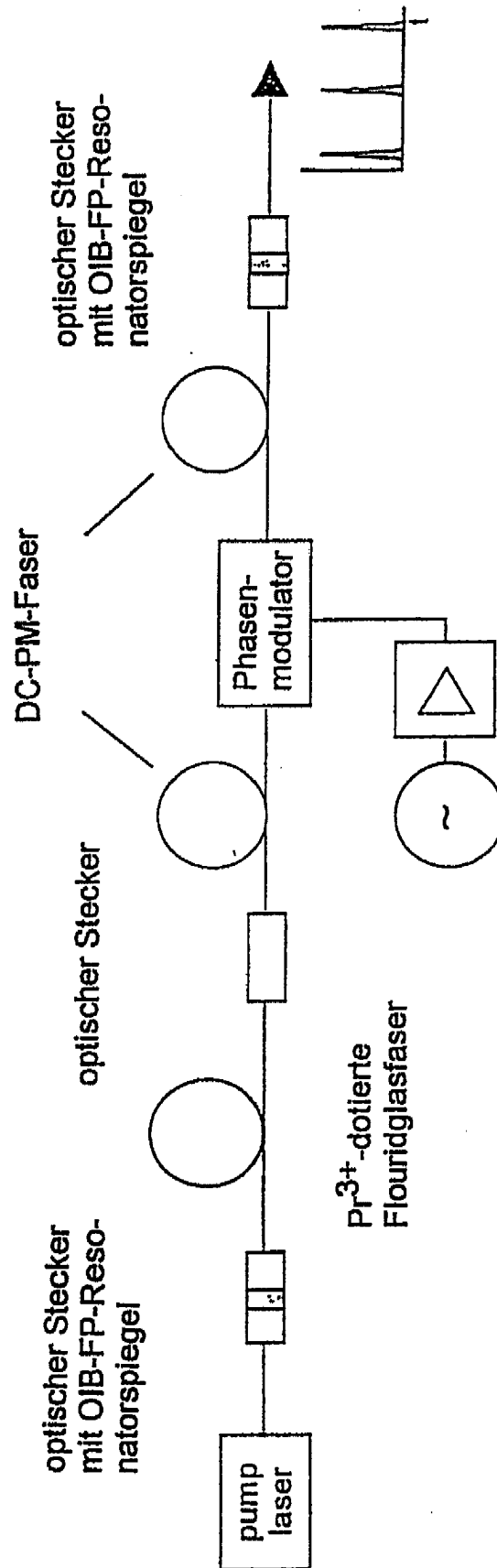
50

55

60

65

- Leerseite -

Fig. 1: Aufbau eines Pr^{3+} -dotierten Fluoridglas-Faserlasers mit 2 PM-DC-Fasern

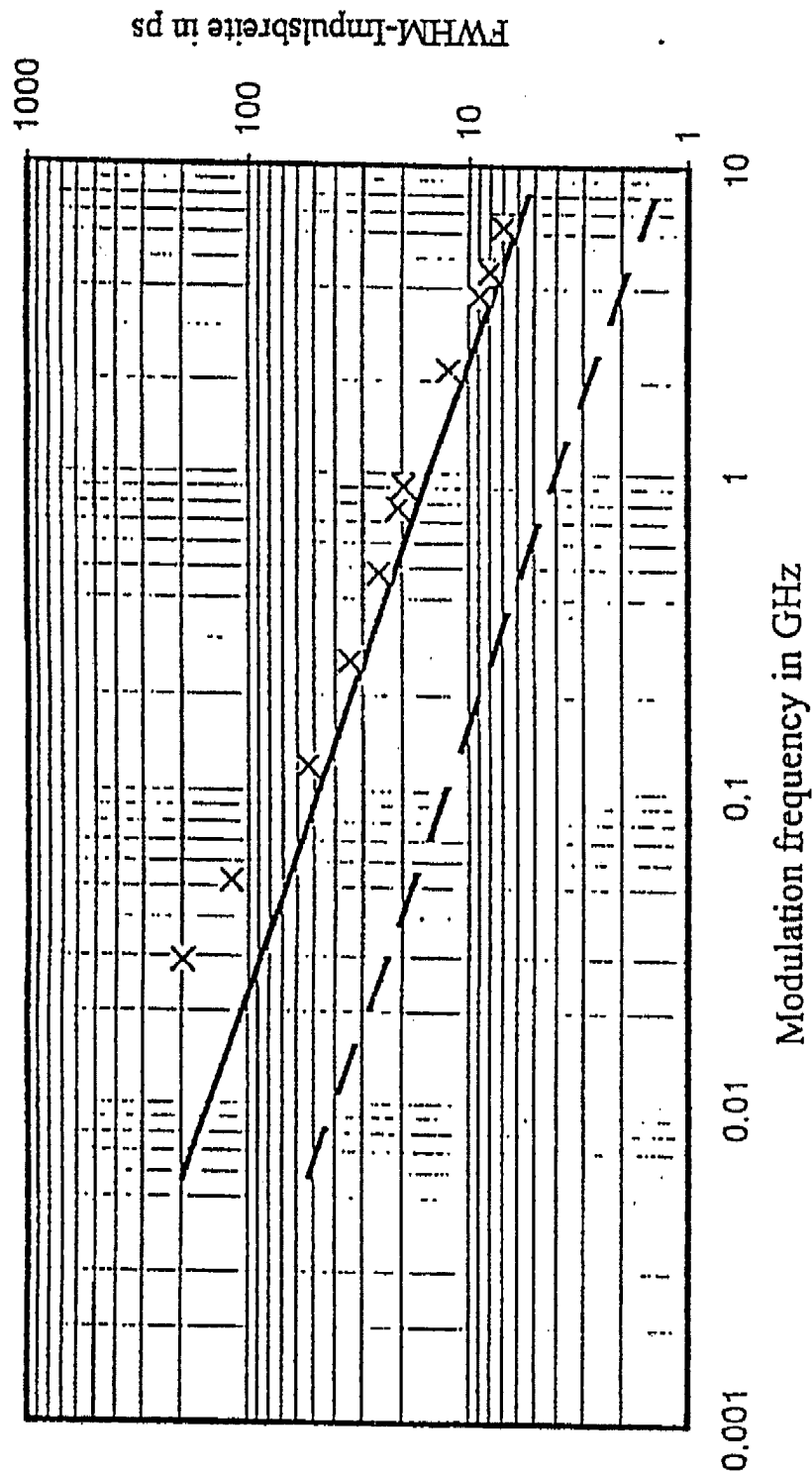
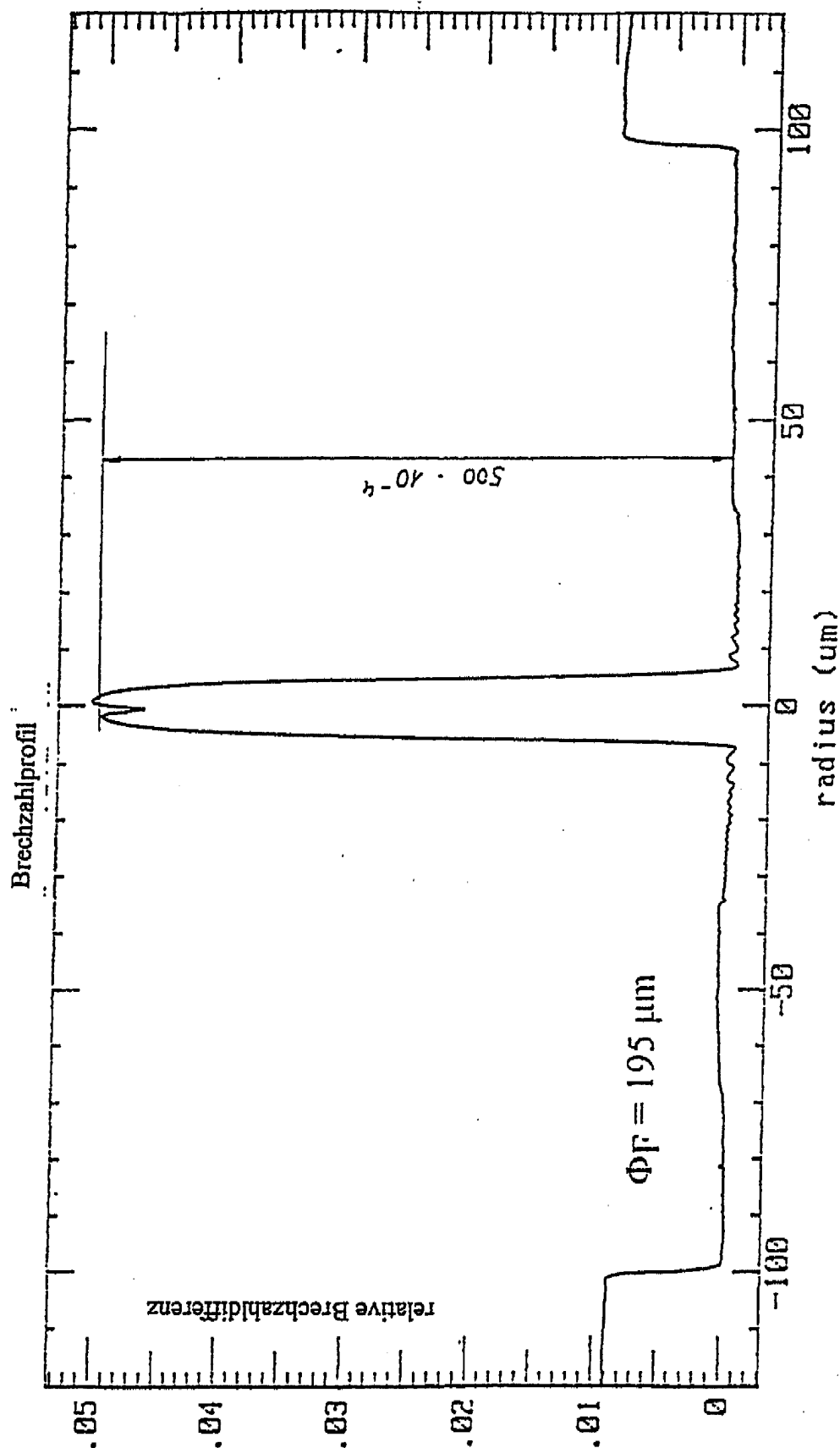
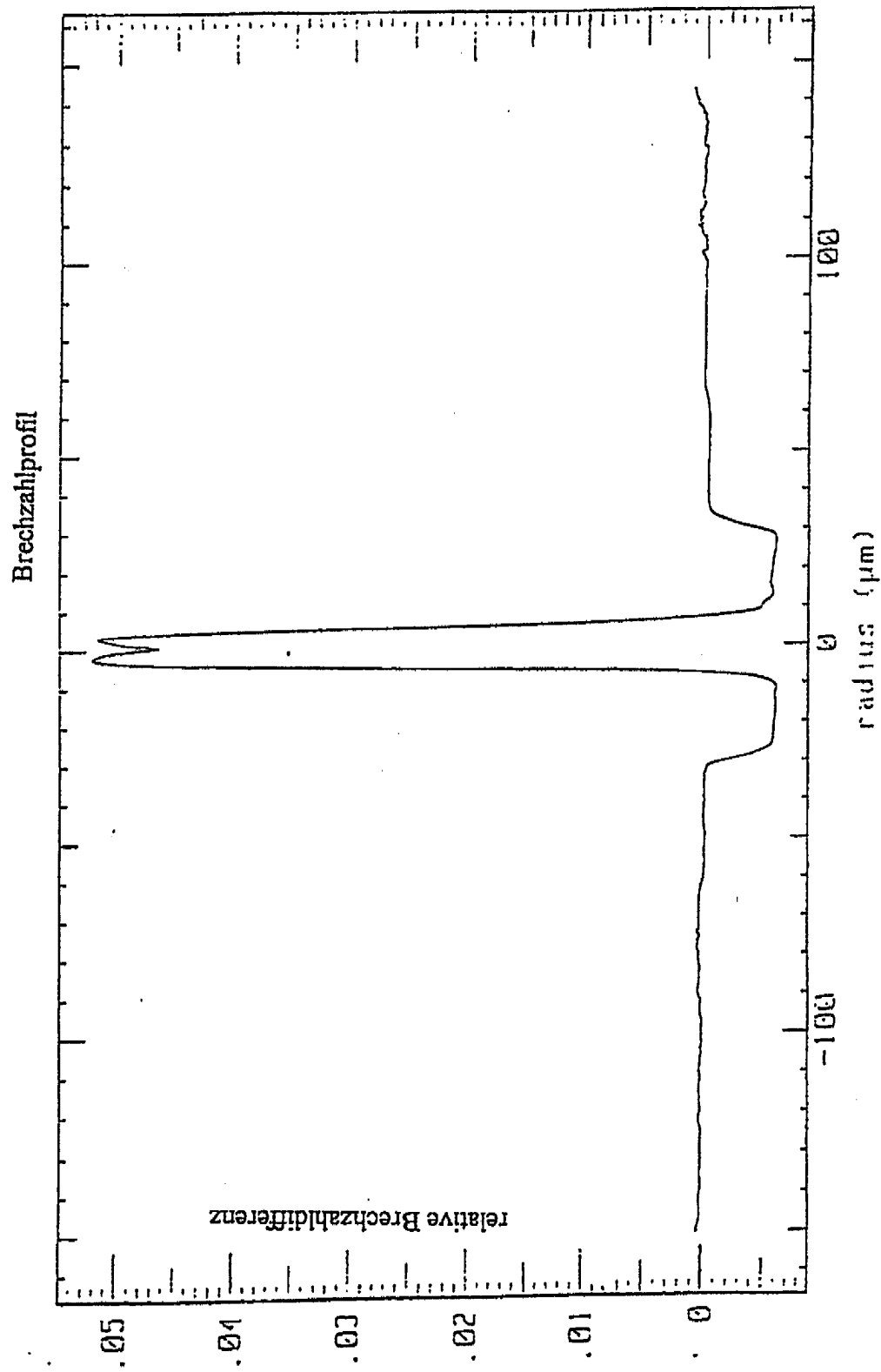


Fig. 2 : Gemessene (x) und berechnete (—) Pulshalbwertsbreite mit und ohne (----) Berücksichtigung der Dispersion in Abhängigkeit von der Modulationsfrequenz

Fig. 3: $n(r)$ -Profil der Stufenindexfaser 79M

Fig. 4: $n(r)$ -Profil der W-Profil-Faser 82M

$$2\Delta_i = \left(\frac{n_i^2 - n_{SiO_2}^2}{n_{SiO_2}^2} \right) * 100$$

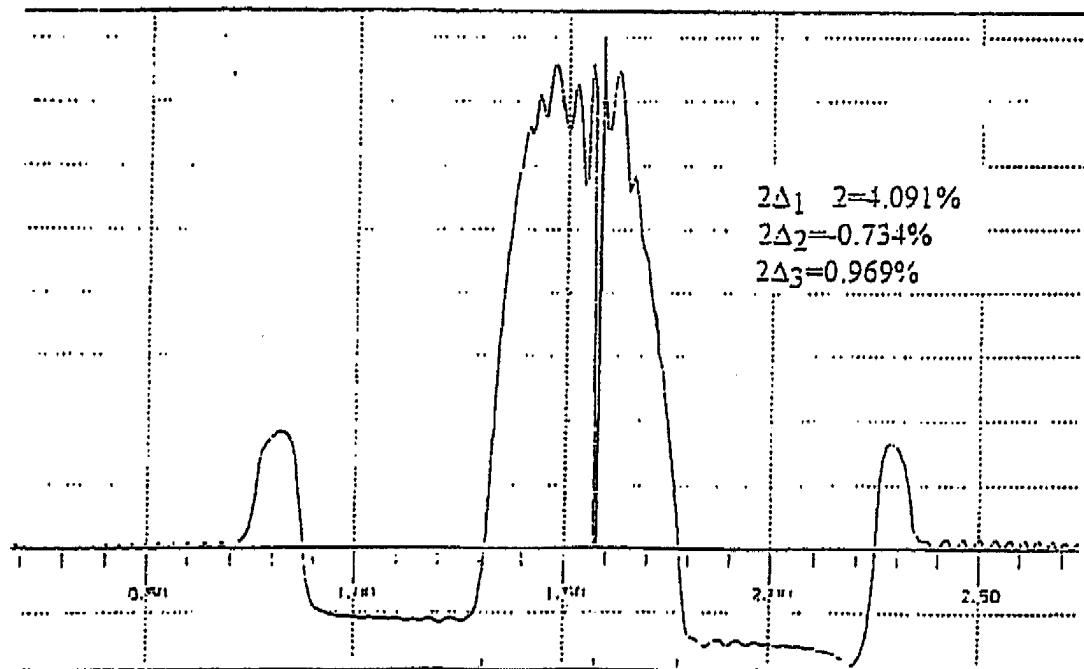
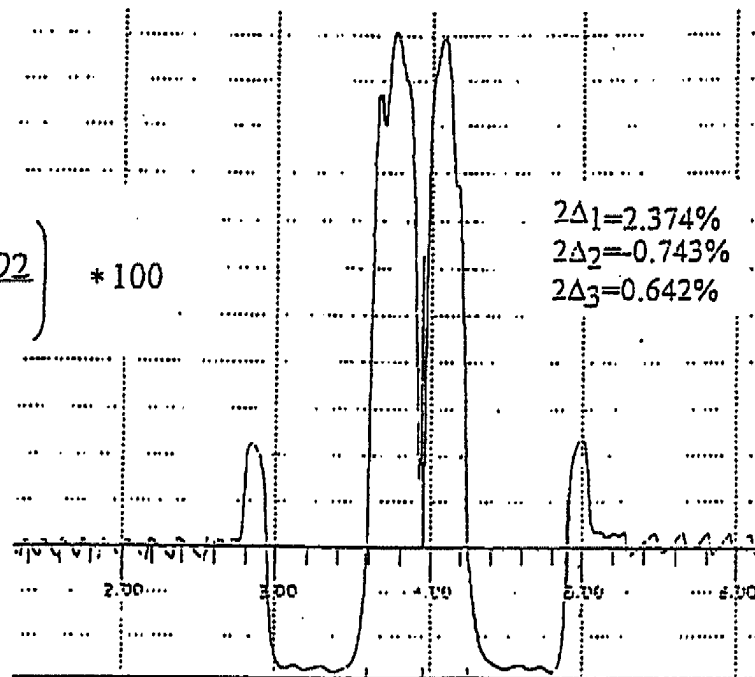


Fig. 5: Brechzahlprofil der beiden TC-Profil-Fasern mit rechteckigem Kern (oben) und parabolischem Kern (unten) Vorformmessung

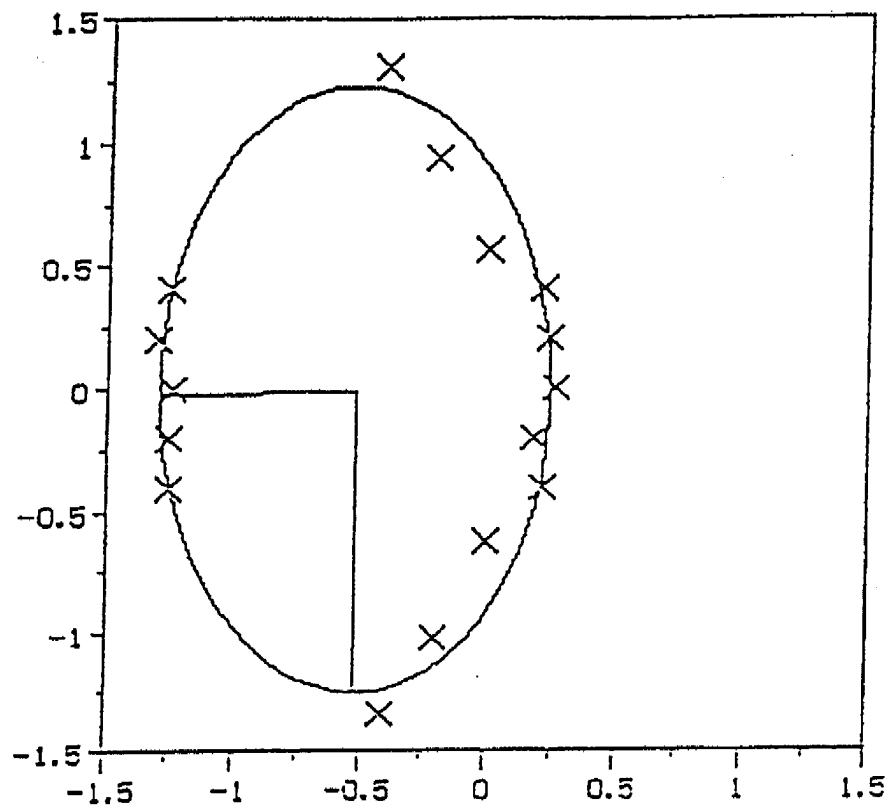


Fig. 6: Kerngeometrie der W-Profil-Faser (elliptischer Fit)
große Achse: $2.48\mu\text{m}$
kleine Achse: $1.54\mu\text{m}$

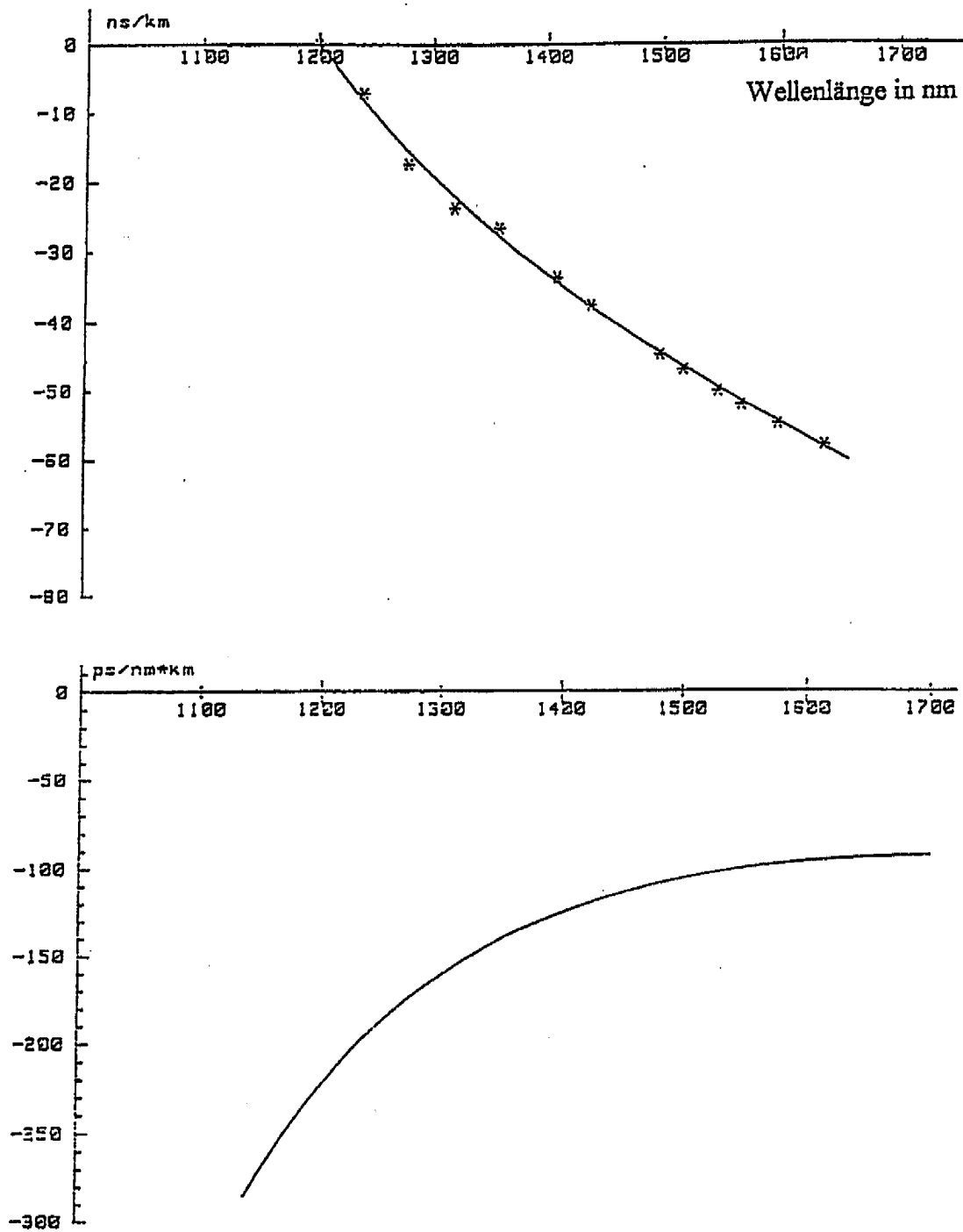


Fig. 7: Gruppenlaufzeit- und Dispersionskurve der Stufenindexfaser 79M

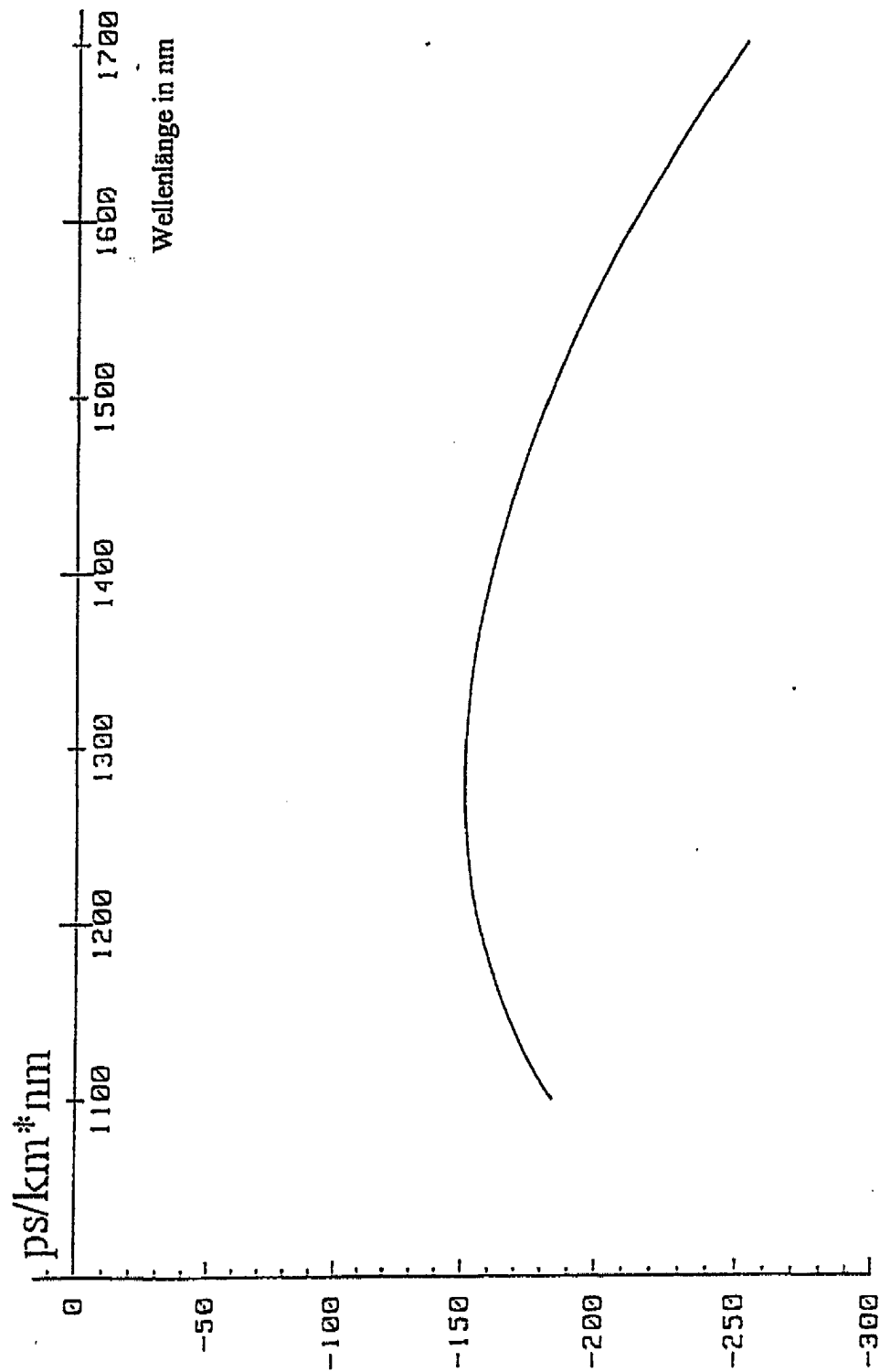


Fig. 8: Chromatische Dispersion der W-Profil-Faser 82M (Ramanfaserlasmessung)

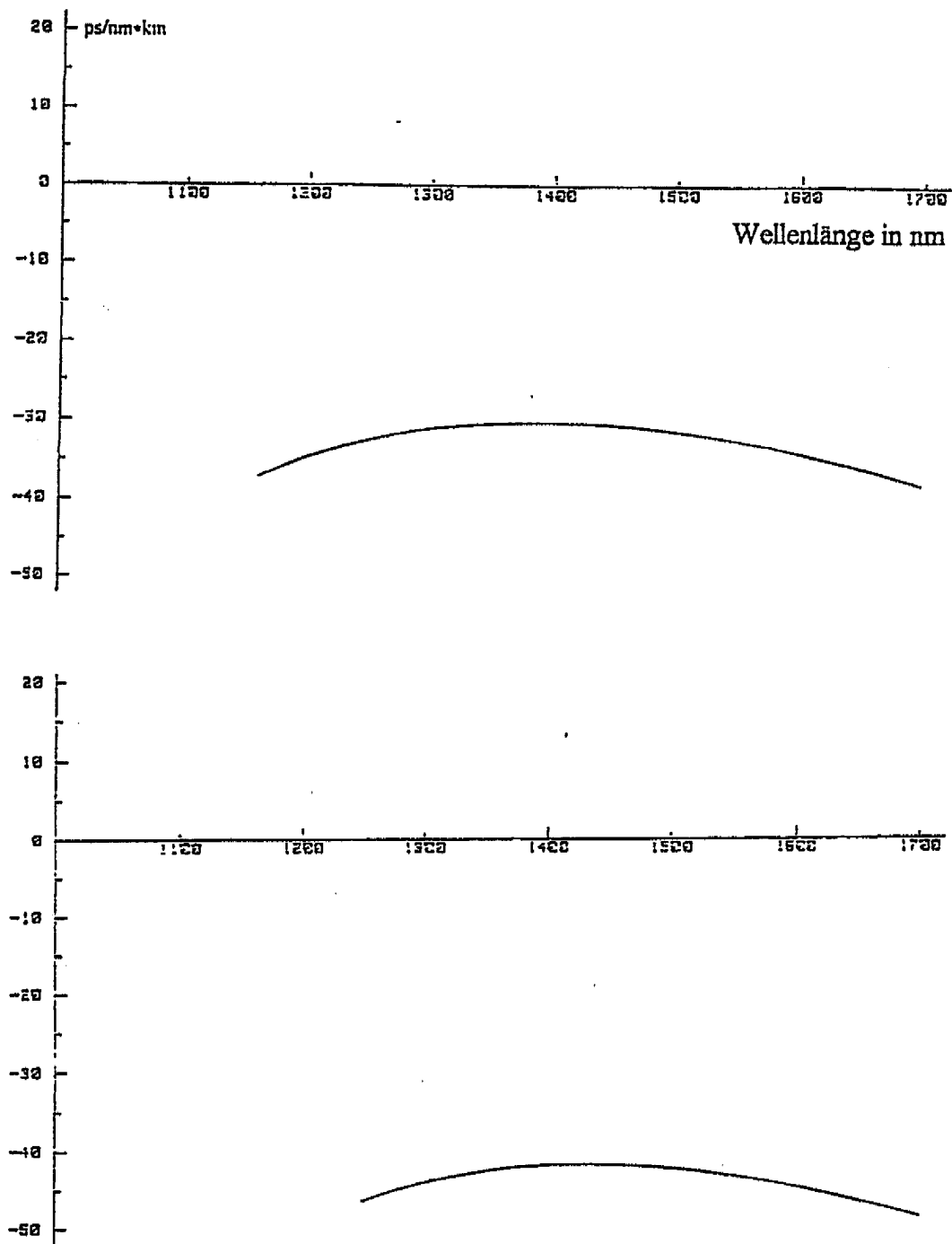


Fig. 9: Dispersionskurven der beiden TC-Profil-Fasern 94M und 96M mit rechteckigem Kern (oben) und parabolischem Kern (unten)

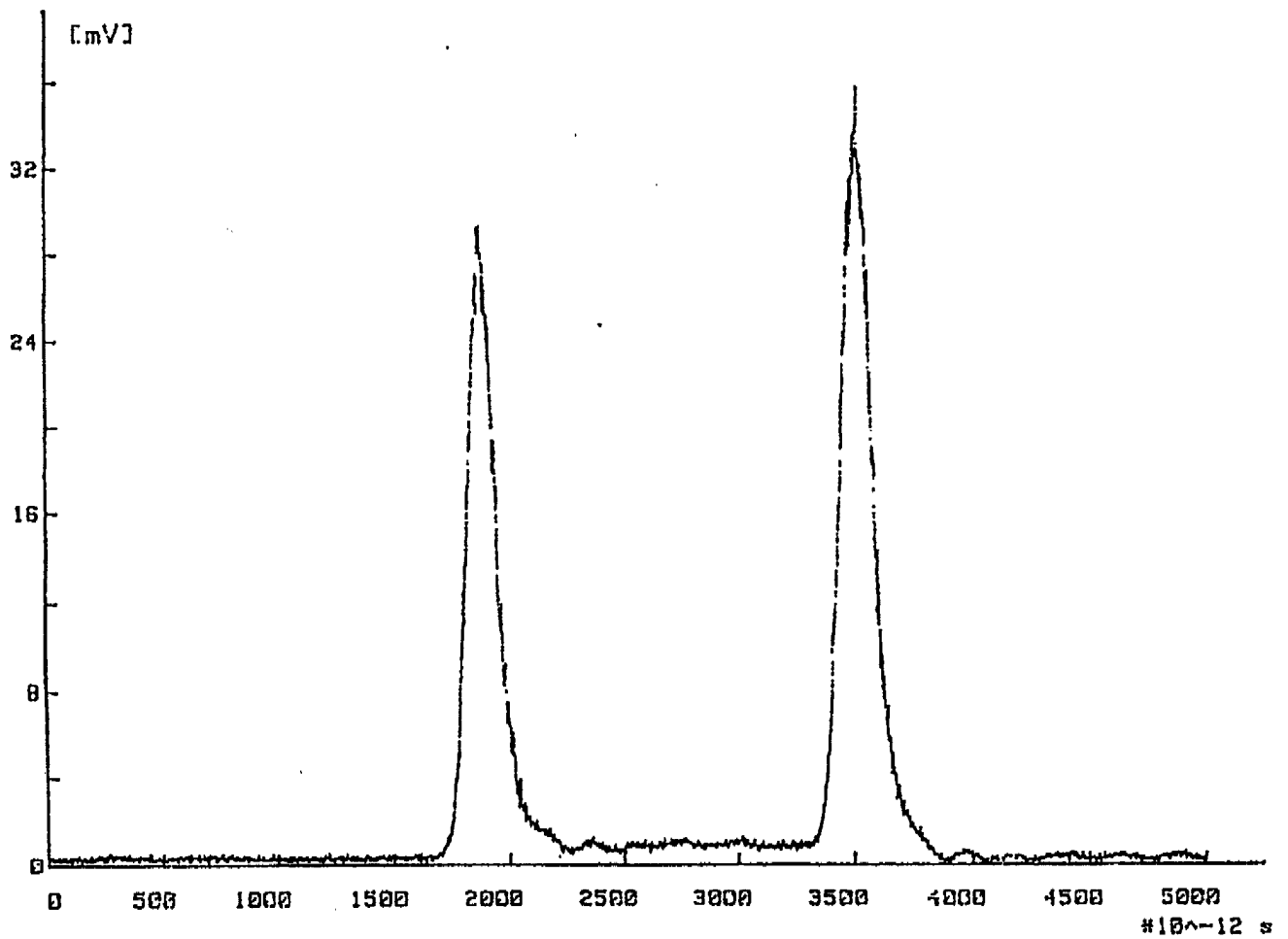


Fig. 10: Doppelpulsdarstellung auf dem Bildschirm des Oszillographen; Stufenindexfaser, Faserlänge 615m, $\lambda = 1550\text{nm}$, Pulsabstand 1679ps \Rightarrow PMD = 2.63ps/m

Tab. 1: Meßergebnisse der chromatischen Dispersion der 2 PM-DC-Fasern 79M und 82M

PM-DC-Faser	Meßaufbau	D(1300nm) in ps/km*nm	D(1540nm) in ps/km*nm	D(1550nm) in ps/km*nm	Elliptischer Fit große/kleine Achse
W-Faser 82M	Ramanfaser- laser	-150,7	-194,7	-197,8	2,48/1,54µm
W-Faser 82M	Mach-Zehnder- Interferometer	-148,3	-192,2	-195,3	
Stufenindex- Faser 79M	Ramanfaser- laser	-160,5	-105,0	-102,2	2,24/1,26µm
Stufenindex- Faser 79M	Mach-Zehnder- Interferometer	-154,8	-101,2	-98,8	

Tab. 2: PMD, Gruppendifferenzierung und Gruppenbeurteilung von
zwei PM-DC-Fasern und von drei kommerziellen PM-Fasern zum Vergleich

Wellenlänge in nm		1276	1321	1516	1546
Parameter	Faser				
PMD in ps/m	W-Faser 82M	5,64	5,91	8,68	8,89
	Stufenindex-Faser 79M	3,34	3,28	2,67	2,56 (2,63)
	PANDA-Faser		1,44	1,47	-
	YORK bow-tie-Faser		2,18	2,22	-
	AT&T-PM-Faser		0,77	0,78	-
Gruppendifferenzierung B _G *10 ⁻⁴	W-Faser 82M	16,92	17,73	26,04	26,67
	Stufenindex-Faser 79M	10,02	9,84	8,01	7,68
	PANDA-Faser		4,32	4,40	-
	YORK bow-tie-Faser		6,54	6,66	-
	AT&T-PM-Faser		2,30	2,35	-
Gruppen- beurteilung in mm	W-Faser 82M	0,75	0,75	0,58	0,58
	Stufenindex-Faser 79M	1,27	1,34	1,89	2,01
	PANDA-Faser		3,01	3,42	-
	YORK bow-tie-Faser		1,97	2,25	-
	AT&T-PM-Faser		5,58	6,46	-

Tab. 3: Geometrische Daten, Dämpfung, Dispersionsmeßergebnisse und PMD-Werte der zwei TC-Profil-Fasern mit rechteckigem und parabolischem Kern

	DC-Faser 94M	DC-Faser 96M
a in μm	5,2	5,56
r ₁ in μm	1,46	1,52
r ₂ in μm	4,43	4,75
α (1300nm) dB/km	2,0	4,6
α (1550nm) dB/km	1,3	2,7
D (1300nm) ps/km·nm	-33,9	-43,0
D (1550nm) ps/km·nm	-40,0	-41,9
S (1550nm) ps/km·nm ²	-0,0264	-0,0129
PMD (3121nm) in ps/m	0,24	0,62
BG (1321) 10 ⁻⁴	0,72	1,86
lBG (1321) in cm	1,83	0,71
PMD (1546) in ps/m	0,36	0,89
BG (1546) 10 ⁻⁴	1,08	2,65
lBG (1546) in cm	1,43	0,58